

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 22229

(13) С1

(46) 2018.10.30

(51) МПК

*H 01L 21/00* (2006.01)

*H 01L 25/00* (2006.01)

(54)

## СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В ОБЪЕМНУЮ СБОРКУ

(21) Номер заявки: а 20150591

(22) 2015.11.30

(43) 2017.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

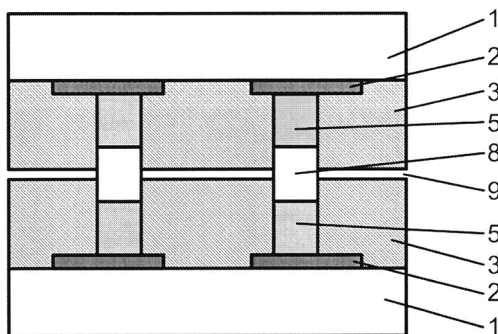
(72) Авторы: Бондаренко Виталий Парфирович; Долгий Алексей Леонидович; Лабунов Владимир Архипович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) РОБЛ. Р. Беспроводные технологии. - 2009. - № 3. - С. 14 - 16  
RU 2171520 С2, 2001.  
SU 1802652 А1, 1996.  
JPH 0936118 А, 1997.  
KR 20020049729 А, 2002.

(57)

Способ соединения кристаллов интегральных микросхем в объемную сборку, в котором на поверхности каждого из указанных кристаллов формируют маску из фоторезиста марки SU-8 на основе эпоксидной смолы, выращивают по этой маске электрохимическим методом на выводах кристаллов медные столбики с высотой, меньшей толщины маски, осаждают на них припой, покрывают поверхность образовавшейся структуры флюсом и оплавливают припой, а затем, не удаляя указанную маску, совмещают друг с другом столбики с припоем, принадлежащие разным кристаллам, и сплавляют их между собой.



Фиг. 8

Данное изобретение относится к электронной технике, а именно к технологии изготовления полупроводниковых приборов и микроэлектронных устройств.

Для изготовления сложных микроэлектронных устройств на основе пластин монокристаллического кремния или пластин КНИ (кремний на изоляторе) часто используется технология, состоящая в сборке устройства, состоящего из нескольких функциональных частей, изготовленных отдельно. Использование этого подхода может быть вызвано как требованием минимизировать площадь, занимаемую устройством, и таким образом увеличить плотность упаковки, так и необходимостью объединить в одном устройстве модули, технологии изготовления которых сильно различаются, что мешает изготовить их на одном кристалле. Для этих целей могут быть использована технология соединения кристаллов ИМС (интегральная микросхема) в СНП (SiP, система в упаковке).

Наиболее близкой по реализации является технология BGA [1] (Ball grid array - массив шариков), которая подразумевает соединение кристаллов посредством сплавления шариков припоя, сформированных на контактных выводах этих кристаллов. Однако использование шариков из припоя ухудшает электрическую проводимость полученных соединений. Воздушные зазоры между шариками припоя отрицательно сказываются на механических и электрических свойствах получаемых структур.

Задача данного изобретения - повышение прочности сборки, улучшение электрических характеристик и упрощение процесса соединения кристаллов ИМС.

Для решения данной задачи предлагается следующее.

Предварительно выращивают электрохимическим методом на выводах кристаллов ИМС в фоторезистивной маске медные столбики, на которые осаждают небольшое количество припоя, покрывают его флюсом и оплавливают, а затем сплавляют кристаллы между собой. Фоторезистивная маска при этом не удаляется, а выполняет функции слоя, повышающего механическую прочность сборки, а также обеспечивающего электрическую изоляцию.

Ключевое место в предложенной технологии занимает выбор фоторезиста для создания маски, в которой формируются медные столбики и островки припоя и которая вместе с этим будет служить буферным слоем, обеспечивающим повышение механических характеристик получаемой структуры. В качестве фоторезиста предлагается использовать фоторезист марки SU-8 на основе эпоксидных смол. Это семейство фоторезистов разработано специально для применения в технологии МЭМС (микроэлектромеханические системы). Такой фоторезист способен выдерживать длительное пребывание в агрессивных растворах и может не удаляться, а быть использован как конструктивный элемент изготавливаемой сборки. Кроме того, данный фоторезист выдерживает высокие температуры, что особенно важно на этапе оплавления припоя и соединения кристаллов [2, 3].

Для реализации предложенного способа на поверхности кристаллов ИМС, которые необходимо соединить, формируется маска из фоторезиста. В отверстиях в маске, которые совпадают с положением выводов металлизации ИМС, проводится формирование медных столбиков, а затем осаждение припоя. Далее наносится флюс и проводится термическое оплавление припоя. После этого производится соединение кристаллов посредством сплавления между собой.

Последовательность технологических операций, необходимых для реализации предложенного способа, приведена на фиг. 1-8.

Фиг. 1. - кристалл ИМС с металлическими выводами.

Фиг. 2. - кристалл ИМС с нанесенным слоем фоторезиста.

Фиг. 3. - кристалл ИМС со вскрытыми окнами в фоторезисте для осаждения металла.

Фиг. 4. - кристалл ИМС с осажденными в окна в фоторезисте медными столбиками.

Фиг. 5. - кристалл ИМС с осажденным поверх медных столбиков припоем.

Фиг. 6. - кристалл ИМС после оплавления припоя.

Фиг. 7. - два кристалла ИМС, совмещенные для соединения.

Фиг. 8. - два кристалла ИМС после соединения методом сплавления.

В качестве исходного объекта используют кристалл ИМС 1 (фиг. 1) с металлическими выводами 2. На кристалл ИМС методом центрифугирования наносится фоторезистивная маска 3 (фиг. 2) из фоторезиста SU-8 толщиной до 250 мкм. Фоторезистивная маска задубливается и экспонируется через соответствующий фотошаблон в ближнем УФ (350-400 нм). Затем проводится процесс проявления, в результате которого в маске вскрываются окна 4 (фиг. 3) для дальнейшего осаждения металла. Кристалл с маской тщательно промывается и высушивается. Возможно проведение операции освежения для удаления загрязнений с металлических выводов 2.

Далее во вскрытых окнах в фоторезистивной маске методом электрохимического осаждения формируются медные столбики 5 (фиг. 4). Электрохимическое осаждение проводится из водного раствора сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  с добавками, которые обеспечивали бы равномерное осаждение слоев меди необходимой толщины. Например, может быть использован промышленный раствор для осаждения медных блестящих покрытий Supracid Ultra или Supracid 210. Высота формируемых медных столбиков должна быть несколько меньше толщины маски из фоторезиста для того, чтобы сохранилось пространство для локального осаждения припоя. На следующем этапе на сформированные медные столбики проводится осаждение припоя 6 (фиг. 5). Припой выбранного состава (содержащий свинец или бессвинцовый) осаждается также электрохимическим методом из водного раствора соответствующих солей и добавок, например из водного раствора  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$  и  $\text{HBF}_4$ . Далее поверхность структуры покрывается флюсом и проводится оплавление припоя. В результате оплавления осажденный припой принимает более округлую форму 7 (фиг. 6), что упрощает последующее соединение структур. На следующем этапе кристаллы совмещаются между собой так, чтобы соответствующие медные столбики с припоем совпадали друг с другом (фиг. 7). Совмещение и фиксирование проводится с помощью соответствующей оснастки, которая позволяет их жестко фиксировать с заданным усилием. Затем оснастка с совмещенными кристаллами помещается в печь и производится сплавление, в результате которого кристаллы оказываются соединенными при помощи сплавленных участков припоя 8 (фиг. 8). Наличие и величина зазора 9 зависит от количества осажденного припоя. Затем соединенные кристаллы остаются в печи для плавного остывания.

## Пример 1.

На поверхность кристаллов ИМС на центрифуге наносится слой фоторезиста SU-8 50. Скорость вращения 5500 об/мин с предварительным вращением на скорости 500 об/мин для равномерно распределения слоя фоторезиста. Толщина фоторезиста составляет 25 мкм. Мягкий отжиг фоторезиста проводится в конвекционной печи. Кристаллы отжигаются 2 мин при 65 °С и 10 мин при 95 °С. Экспонирование проводится на установке фотолитографии с широким спектром излучения, применяется оптический фильтр для подавления излучения ниже 350 нм. Энергия экспозиции составляет 90 мДж/см<sup>2</sup>. Затем проводится двухстадийный процесс задубливания экспонированного фоторезиста в течение 1 мин при 65 °С и 1 мин при 95 °С. Проявление проводится в специальном проявителе для данного типа фоторезиста. Время проявления составляет 3 мин. После проявления образцы были тщательно промываются в изопропиловом спирте и высушиваются в струе азота. Медные столбики получают методом электрохимического осаждения из электролита Atotech Supracid 210 при плотности катодного тока 20 мА/см<sup>2</sup>. Высота медных столбиков составляет 23 мкм. После осаждения меди проводится промывка кристаллов в проточной деионизованной воде и сушка на центрифуге. На поверхности медных столбиков формируется слой припоя эвтектического состава SnPb с процентным соотношением 40/60 толщиной 5 мкм. Припой осаждается из водного раствора состава 125 г/л  $\text{HBF}_4$ , 15 г/л  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 7 г/л  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 10 г/л  $\text{H}_3\text{BO}_3$  при плотности катодного тока 25 мА/см<sup>2</sup>. Затем кристалл покрывается флюсом и проводится оплавление припоя при температуре 195-200 °С. Кристаллы совмещаются в оснастке и сжимаются с усилием, не превышающим 1 кПа. Сплавление проводится при температуре 250 °С в печи. Затем сплавленные кристаллы медленно остывают до температуры 75 °С и извлекаются из печи.

## Пример 2.

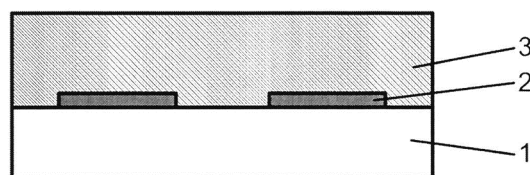
На поверхность кристаллов ИМС на центрифуге наносится слой фоторезиста SU-8 50. Скорость вращения 4000 об/мин с предварительным вращением на скорости 500 об/мин для равномерно распределения слоя фоторезиста. Толщина фоторезиста составляет 45 мкм. Мягкий отжиг фоторезиста проводится в конвекционной печи. Кристаллы отжигаются 4 мин при 65 °С и 10 мин при 95 °С. Экспонирование проводится на установке фотолитографии с широким спектром излучения, применяется оптический фильтр для подавления излучения ниже 350 нм. Энергия экспозиции составляет 90 мДж/см<sup>2</sup>. Затем проводится двухстадийный процесс задубливания экспонированного фоторезиста в течение 1 мин при 65 °С и 3 мин при 95 °С. Проявление проводится в специальном проявителе для данного типа фоторезиста. Время проявления составляет 5 мин. После проявления образцы были тщательно промываются в изопропиловом спирте и высушиваются в струе азота. Медные столбики получают методом электрохимического осаждения из электролита Atotech Cupracid 210 при плотности катодного тока 20 мА/см<sup>2</sup>. Высота медных столбиков составляет 43 мкм. После осаждения меди проводится промывка кристаллов в проточной деионизованной воде и сушка на центрифуге. На поверхности медных столбиков формируется слой оловянного бессвинцового припоя толщиной 5 мкм. Припой осаждается из водного раствора состава 125 г/л HBF<sub>4</sub>, 20 г/л Sn(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 10 г/л H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> при плотности катодного тока 25 мА/см<sup>2</sup>. Затем кристалл покрывается флюсом и проводится оплавление припоя при температуре 235 °С. Кристаллы совмещаются в оснастке и сжимаются с усилием, не превышающим 1 кПа. Сплавление проводится при температуре 250 °С в печи. Затем сплавленные кристаллы медленно остывают в печи до температуры 75 °С и извлекаются.

Источники информации:

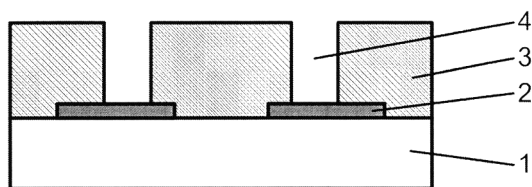
1. РОБЛ Р. Беспроводные технологии. - 2009. - № 3. - С. 14-16.
2. Shapley J.D.L., Barrow D.A. Novel patterning method for the electrochemical production of etched silicon // Thin Solid Films. - 2001. - Vol. 388. - P. 134-37.
3. Dentinger Paul M., Clift W. Miles, Goods Steven H. Removal of SU-8 photoresist for thick film applications // Microelectron. Eng. - 2002. - Vol. 61-62. - P. 993-1000.



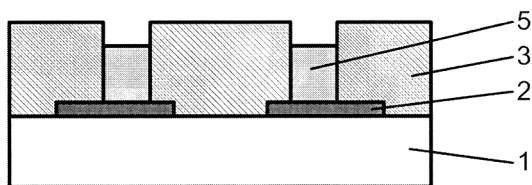
Фиг. 1



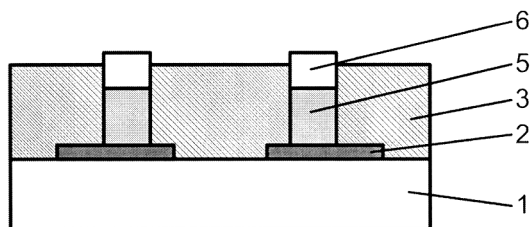
Фиг. 2



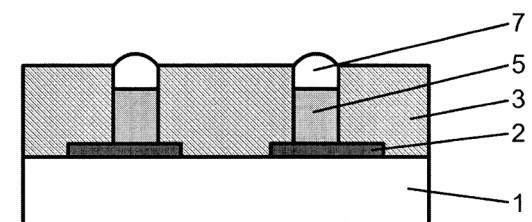
Фиг. 3



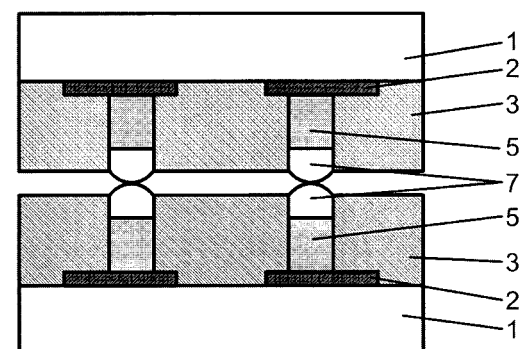
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7